

Werkstoffwoche 2015, Dresden

Crashverhalten schaumgefüllter AZ31B Magnesiumprofile unter Drei-Punkt-Biegung

Dr. Ping Zhou, Dipl.-Ing. Elmar Beeh,
Prof. Dr. Horst E. Friedrich, Dipl.-Ing. Gundolf Kopp

*Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt - Institut für
Fahrzeugkonzepte, Pfaffenwaldring 38-40, 70569 Stuttgart*

Vortragender:

MSc Thomas Grünheid



Wissen für Morgen



Inhalt

- Einleitung
- Motivation
- Materialversuche und Charakterisierung
- Drei-Punkt-Biegung: Versuch
- Drei-Punkt-Biegung: Simulation
- Zusammenfassung

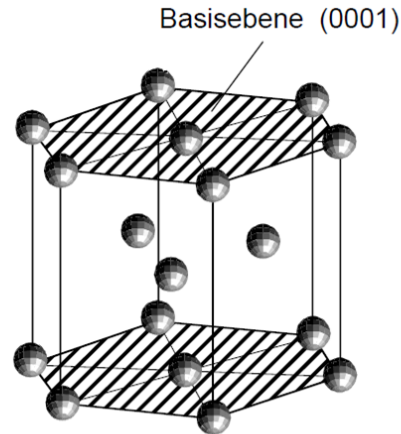
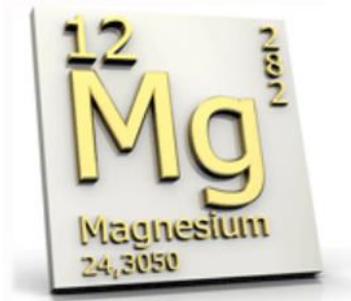


- **Einleitung**
- Motivation
- Materialversuche und Charakterisierung
- Drei-Punkt-Biegung: Versuch
- Drei-Punkt-Biegung: Simulation
- Zusammenfassung



Einleitung

Magnesiumlegierungen

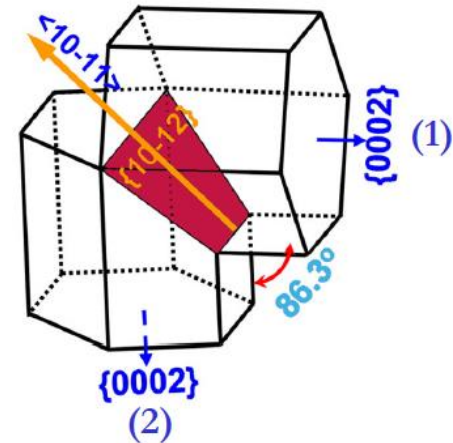


HDP Kristallstruktur

Materialeigenschaften:

Dichte	1.78 g/cm ³
Elastizitätsmodul	45 GPa
Schubmodul	17 GPa
Querdehnungszahl	0.35

- Nur 2,5 Gleitebenen aktiv bei Raumtemperatur
- 5 aktive Gleitebenen notwendig, nach Taylorkriterium
- Twinning ist weiteres unabhängiges Deformationssystem bei Druckbelastung
- Beschränkte Dehnungsaufnahme führt zu Zug-Druck-Asymmetrie



Twinning

(Quelle: Dariush Ghaffari Tari)

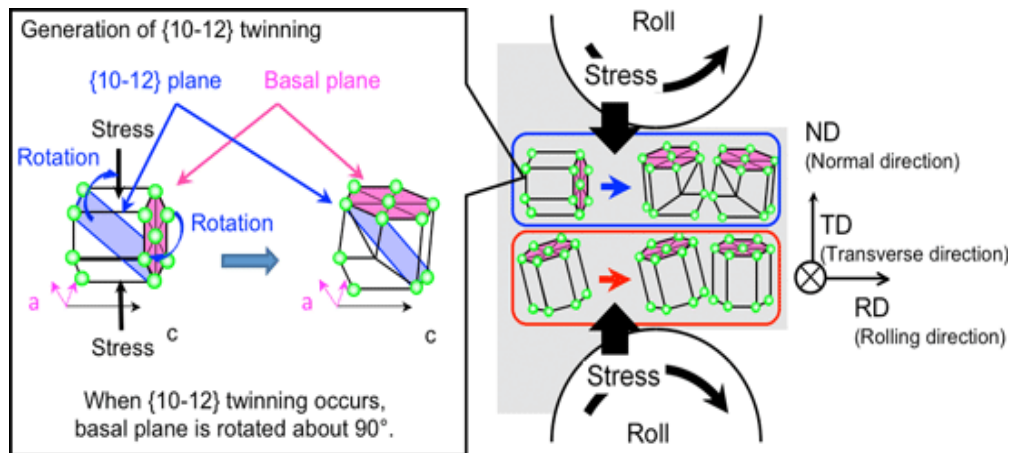


Einleitung

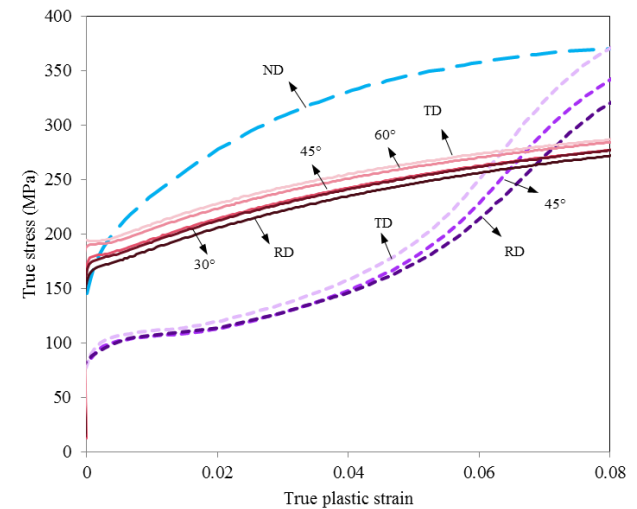
AZ31B: Magnesium-Aluminium-Zink-Legierung

Chemische Zusammensetzung in Gewichtsprozent

Mg	Al	Zn	Mn	Ca	Cu	Fe	Ni	Si
Bal.	2.5-3.5	0.6-1.4	0.2-1.0	<0.04	<0.05	<0.005	<0.005	<0.05



(Quelle: www.aist.go.jp/aist_e/latest_research/2010/20100217/20100217.html)



(Quelle: Dariush Ghaffari Tari)

- Große Anisotropie wird durch Roll- und Extrusionsprozess hervorgerufen
- Große Zug-Druck-Asymmetrie
- Geringe Duktilität bei Raumtemperatur



Einleitung

Magnesiumanwendungen im Automobilbau



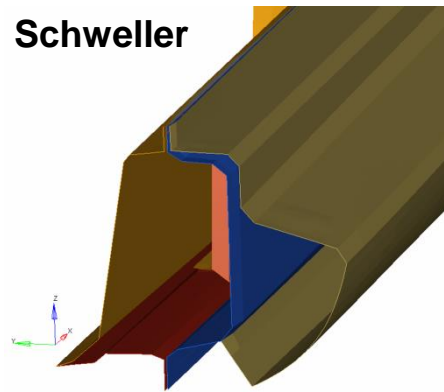
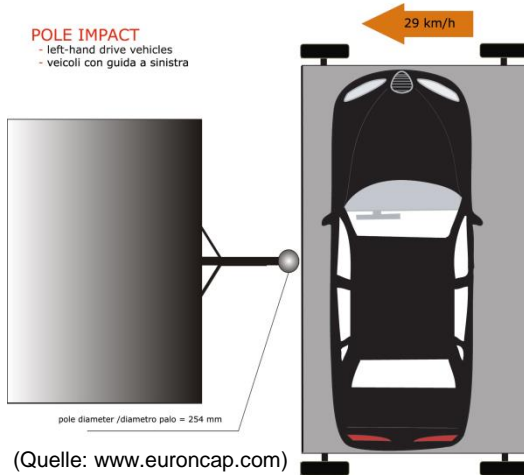
- Gußteile sind Hauptanwendungen
- Kein Einsatz von Absorbern für Crashszenarios



- Einleitung
- **Motivation**
- Materialversuche und Charakterisierung
- Drei-Punkt-Biegung: Versuch
- Drei-Punkt-Biegung: Simulation
- Zusammenfassung

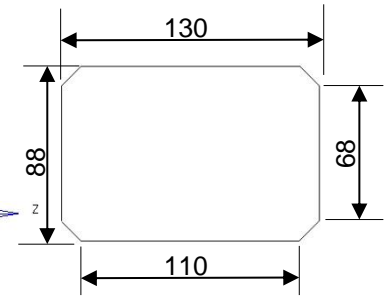


Motivation

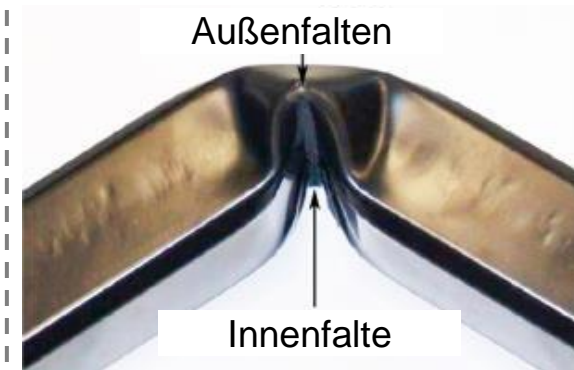


Quelle: Master thesis from M. Wongwatanyou

Generische Geometrie



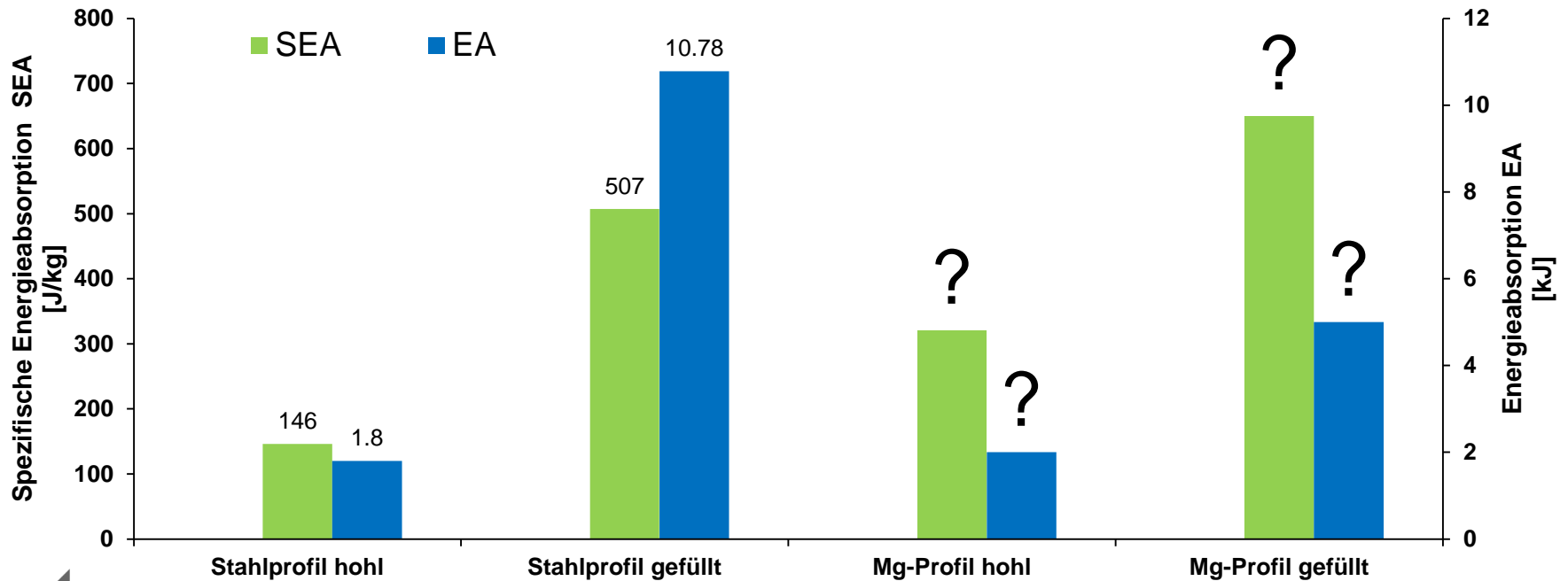
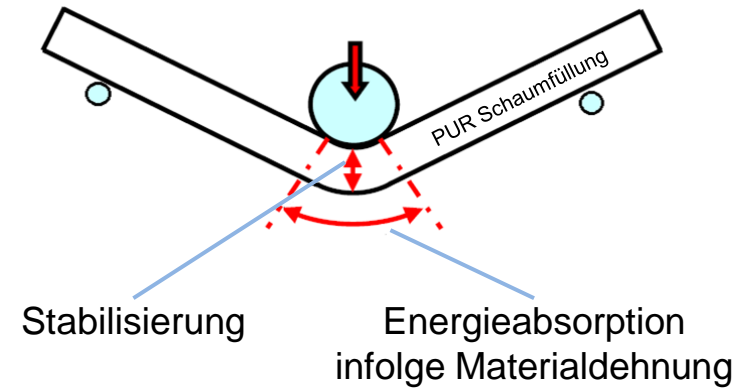
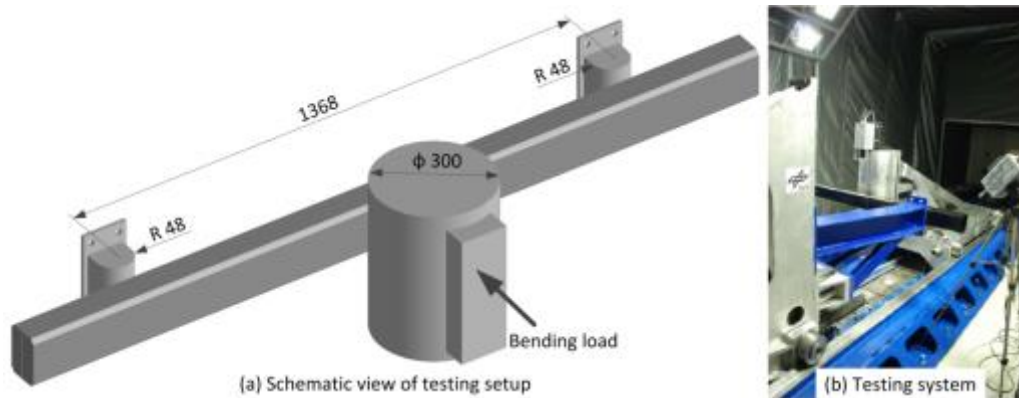
Grundprofil



- Energieabsorbierende Teile während Pfahlcrash: Schweller, Türrahmen, B-Säule und umgebende Teile
- Schutz des Insassen und kritischen Komponenten wie Li-Ionen-Batterien verlangen geringe Intrusionen in Bodengruppe
- Kollabieren des Querschnitts bei Biegung, bewirkt geringe Energieabsorption (EA)
- Höhere gewichtsspezifische Energieabsorption (SEA) bei Stabilisierung des Querschnitts
- Leichtbaupotential durch neue Freiheiten in Design und Materialwahl



Motivation

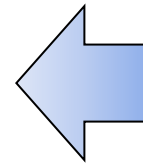
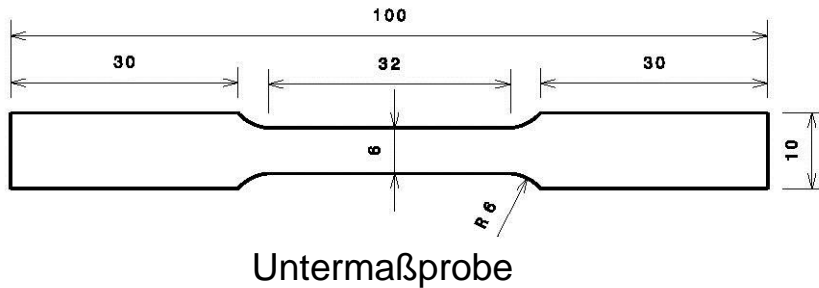
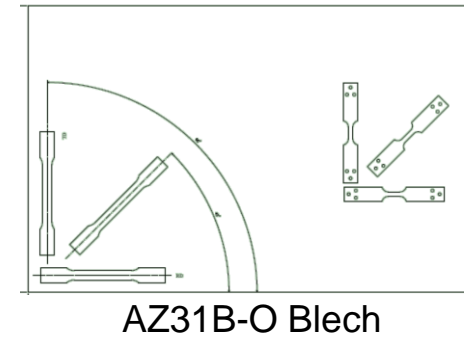
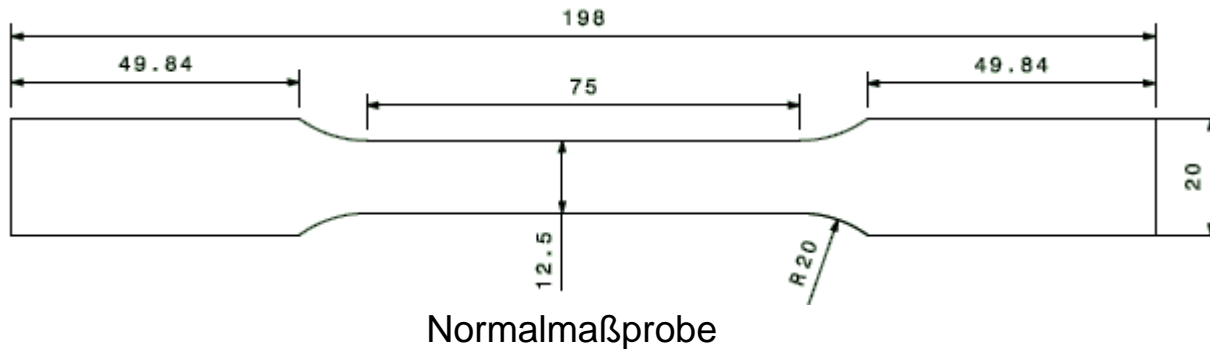


- Einleitung
- Motivation
- **Materialversuche und Charakterisierung**
- Drei-Punkt-Biegung: Versuch
- Drei-Punkt-Biegung: Simulation
- Zusammenfassung



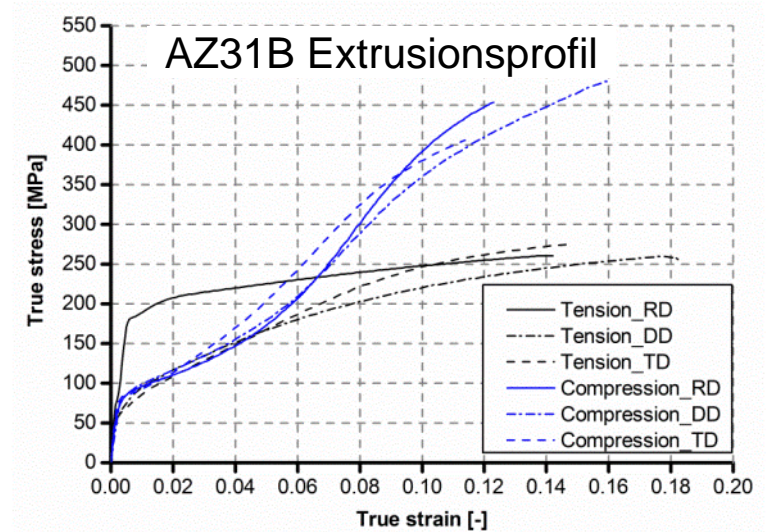
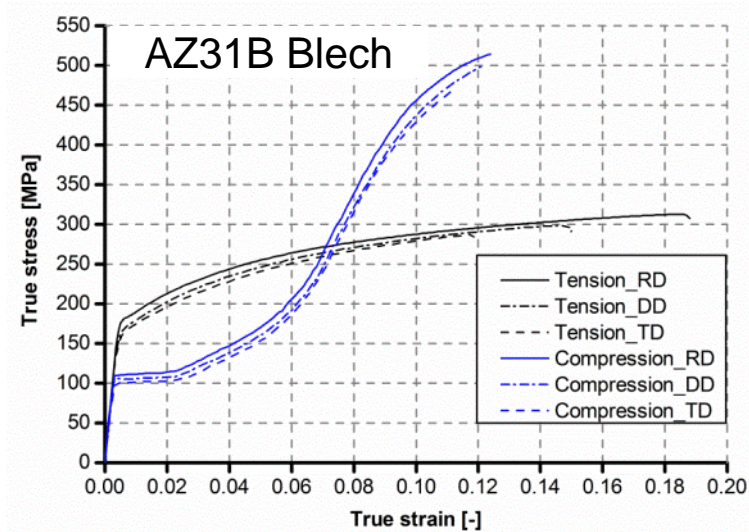
Materialversuche und Charakterisierung

Q-S uniaxiale Zug- und Druckversuche von AZ31B



Materialversuche und Charakterisierung

Q-S uniaxiale Zug- und Druckversuche von AZ31B



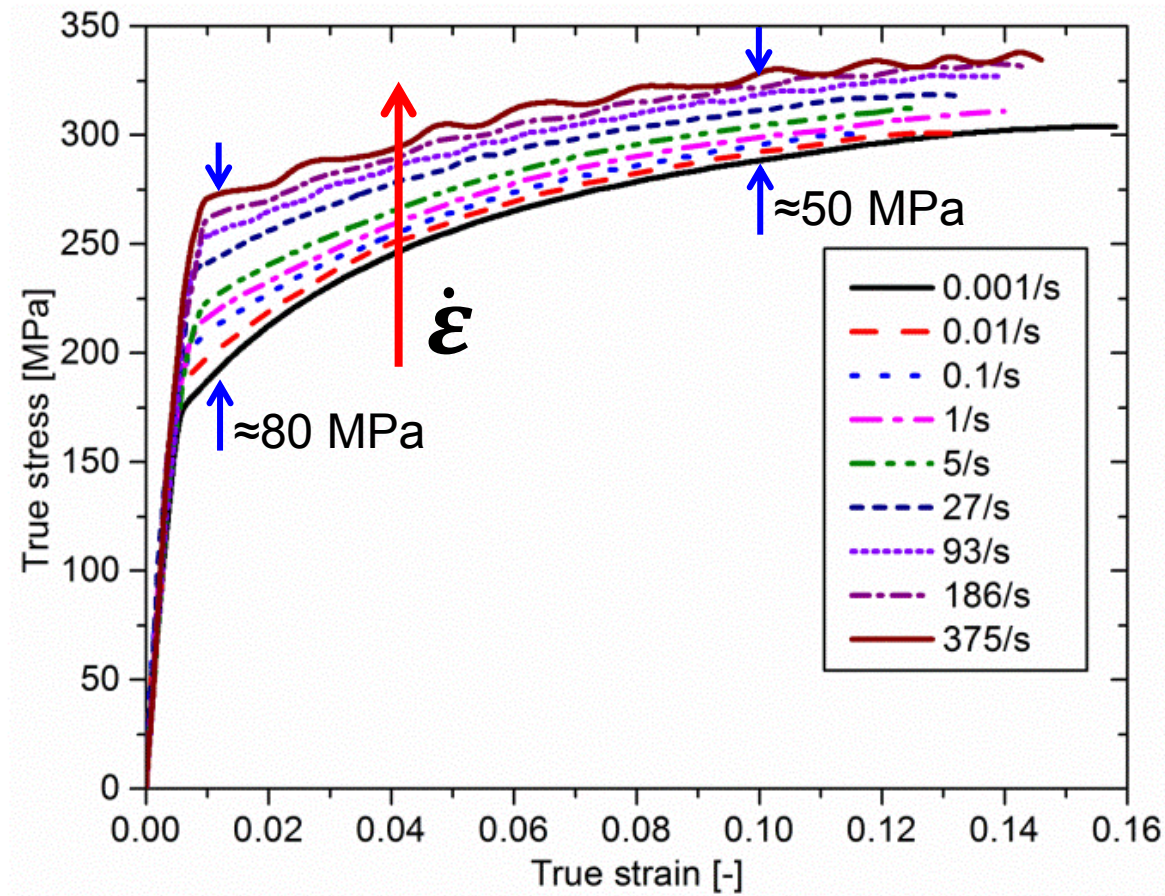
Ergebnisse und Diskussion

- Ausgeprägte Anisotropie der Streckgrenze ($\Delta 120$ MPa) und Gesamtdehnung ($\Delta 4\%$) bei Extrusionsprofil gegenüber Blech
- geringere Anisotropie von Blech gegenüber Extrusionsprofil \rightarrow Zug-Druck-Asymmetrie
- Hohe Verfestigung unter Druckbelastung
- Höhere Zug- und Druckfestigkeit von Blech gegenüber Extrusionsprofil



Materialversuche und Charakterisierung

Hochgeschwindigkeitszugversuche



Hohe Dehnratenabhängigkeit



- Einleitung
- Motivation
- Materialversuche und Charakterisierung
- **Drei-Punkt-Biegung: Versuch**
- Drei-Punkt-Biegung: Simulation
- Zusammenfassung



Drei-Punkt-Biegung: Versuch

Versuchseinrichtungen

DLR-FK Druckprüfanlage für
quasistatische Versuche



DLR-FK Crashanlage für
dynamische Versuche



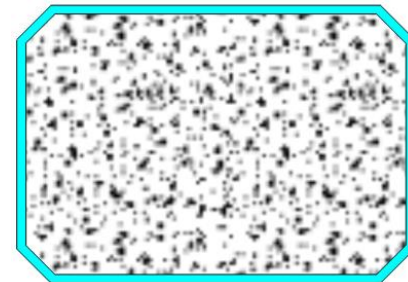
Drei-Punkt-Biegung: Versuch

Probenübersicht

Probe	Schale	Wandstärke (mm)	Schaumdichte (g/cm³)	Masse (kg)	Versuchsgeschw. (m/s)
<i>Hohle und schaumgefüllte Stahlprofile</i>					
SES	Stahl DC04	2,0	Hohl	12,35	0,06
S20S	Stahl DC04	2,0	0,20	16,92	0,06
S40S	Stahl DC04	2,0	0,40	21,15	0,06
S40D	Stahl DC04	2,0	0,40	21,15	6,0
<i>Hohle und schaumgefüllte Mg-Extrusionsprofile</i>					
XES	Mg AZ31B-F	3,0	Hohl	4,32	0,06
XED	Mg AZ31B-F	3,0	Hohl	4,32	2,0
X30S	Mg AZ31B-F	3,0	0,30	11,35	0,06
X30D	Mg AZ31B-F	3,0	0,30	11,35	4,5
<i>Hohle und schaumgefüllte Mg-Blechprofile</i>					
MED	Mg AZ31B-O	1,8	Hohl	2,73	2,0
M05D	Mg AZ31B-O	1,8	0,05	3,75	2,0
M20D	Mg AZ31B-O	1,8	0,20	7,70	3,5
M30D	Mg AZ31B-O	1,8	0,30	9,58	3,5



Hohlprofil



Schaumgefülltes Profil



Drei-Punkt-Biegung: Versuch

Formänderung: **Stahlprofile**



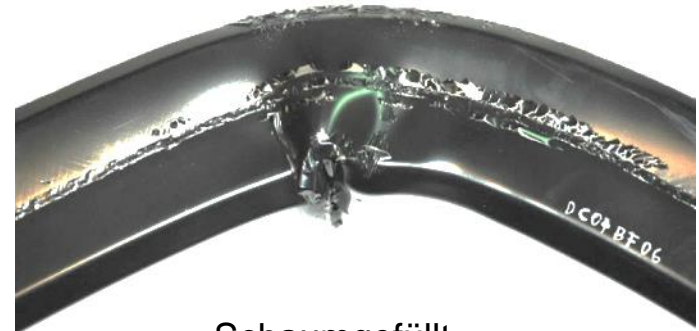
Hohl,
60 mm/s



Schaumgefüllt,
0.2 g/cm³, 60 mm/s



Schaumgefüllt,
0.4 g/cm³, 60 mm/s

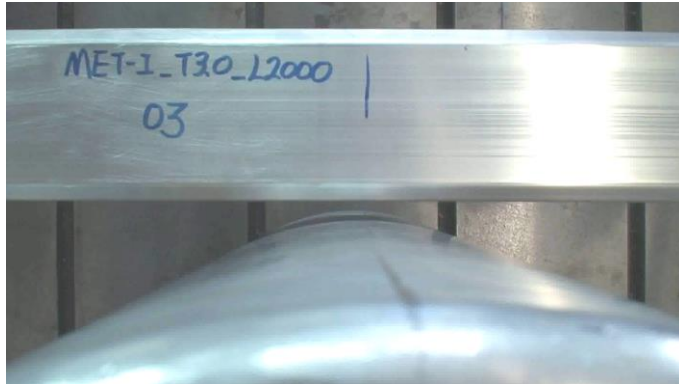


Schaumgefüllt,
0.4 g/cm³, 6.0 m/s

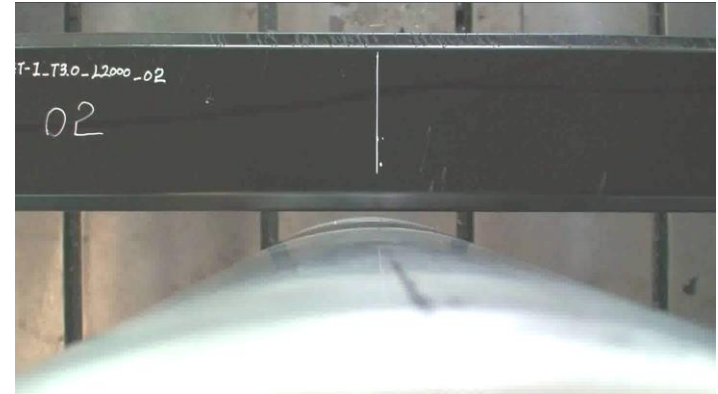


Drei-Punkt-Biegung: Versuch

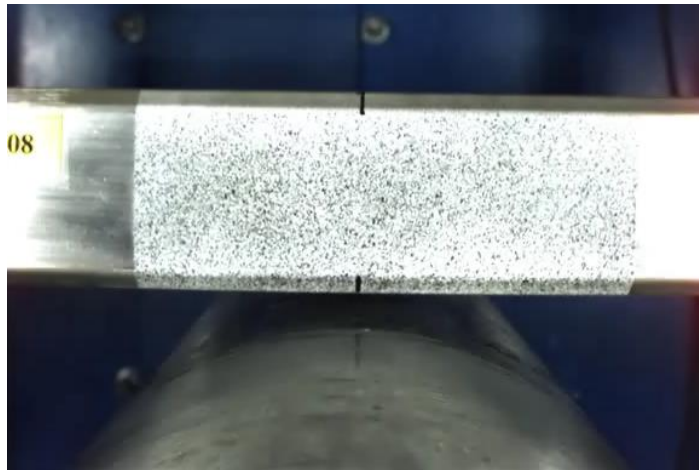
Formänderung: **Mg AZ31B Extrusionsprofile**



Hohl,
60 mm/s



Schaumgefüllt,
0.3 g/cm³, 60 mm/s



Hohl,
2.0 m/s

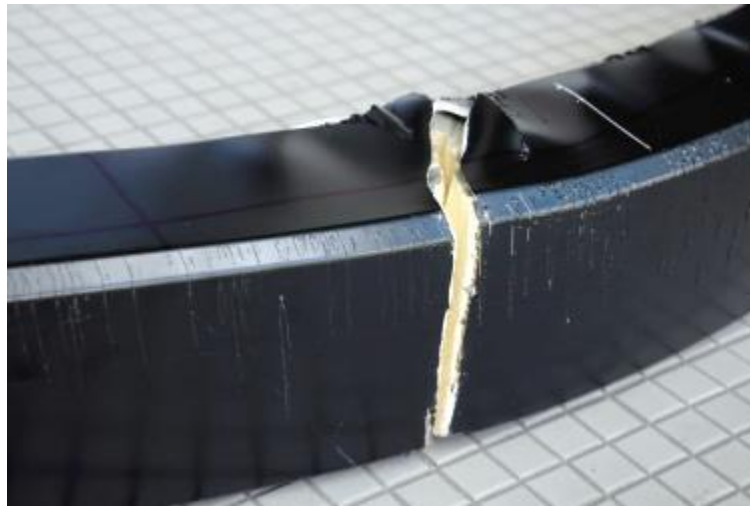


Schaumgefüllt,
0.3 g/cm³, 4.5 m/s



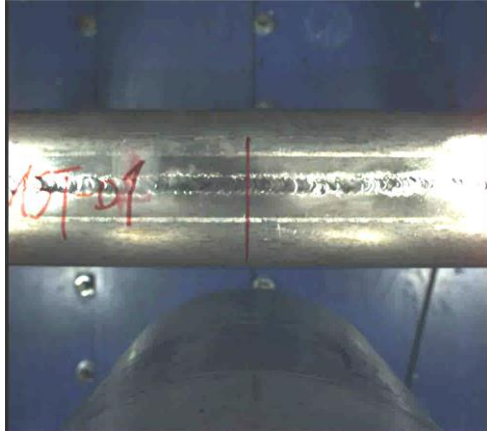
Drei-Punkt-Biegung: Versuch

Formänderung: [Mg AZ31B Extrusionsprofile](#)



Drei-Punkt-Biegung: Versuch

Formänderung: **Mg AZ31B Blechprofile**



Hohl,
2.0 m/s



Schaumgefüllt,
0.05 g/cm³, 2.0 m/s



Schaumgefüllt,
0.2 g/cm³, 3.5 m/s



Schaumgefüllt,
0.3 g/cm³, 3.5 m/s



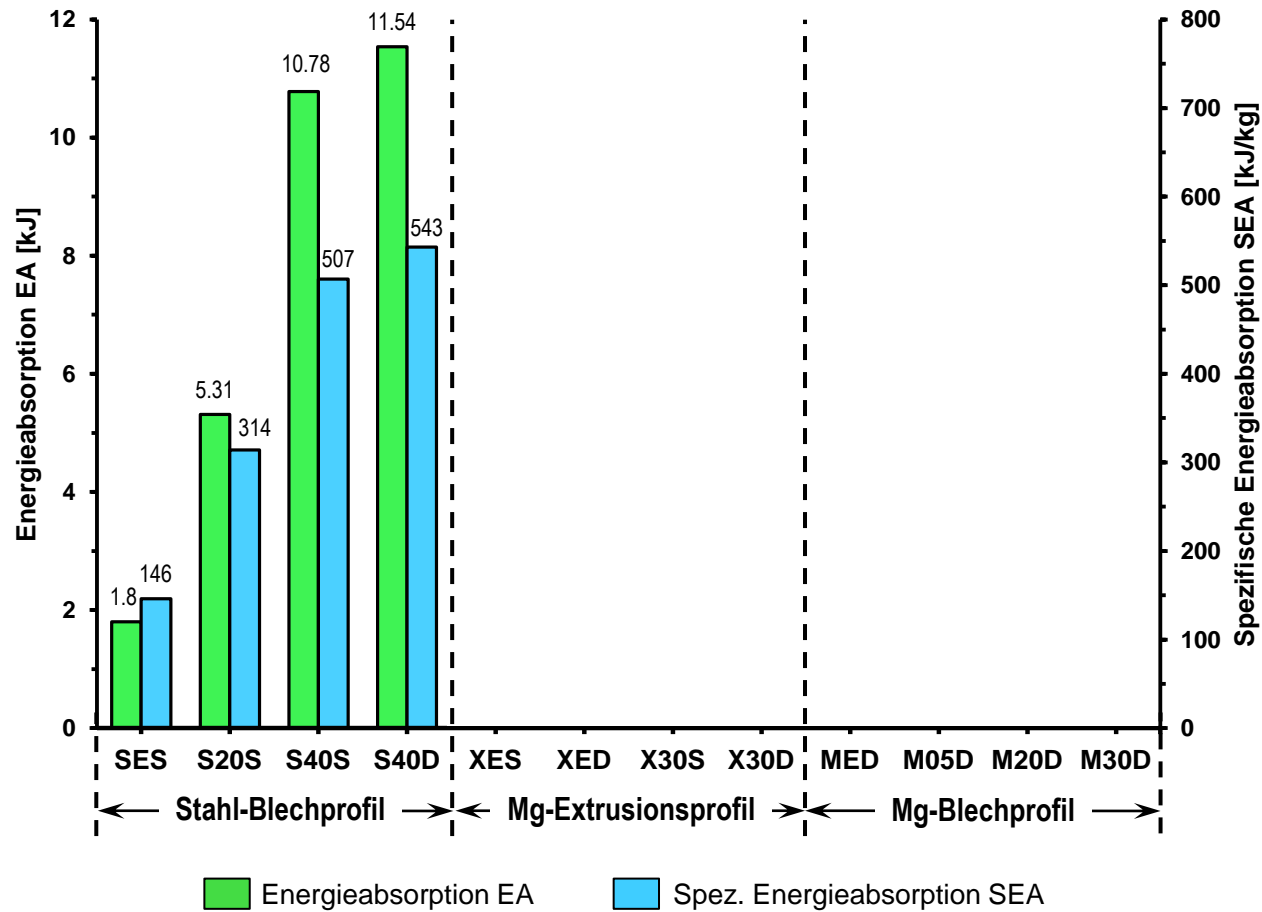
Drei-Punkt-Biegung: Versuch

Formänderung: [Mg AZ31B Blechprofile](#)



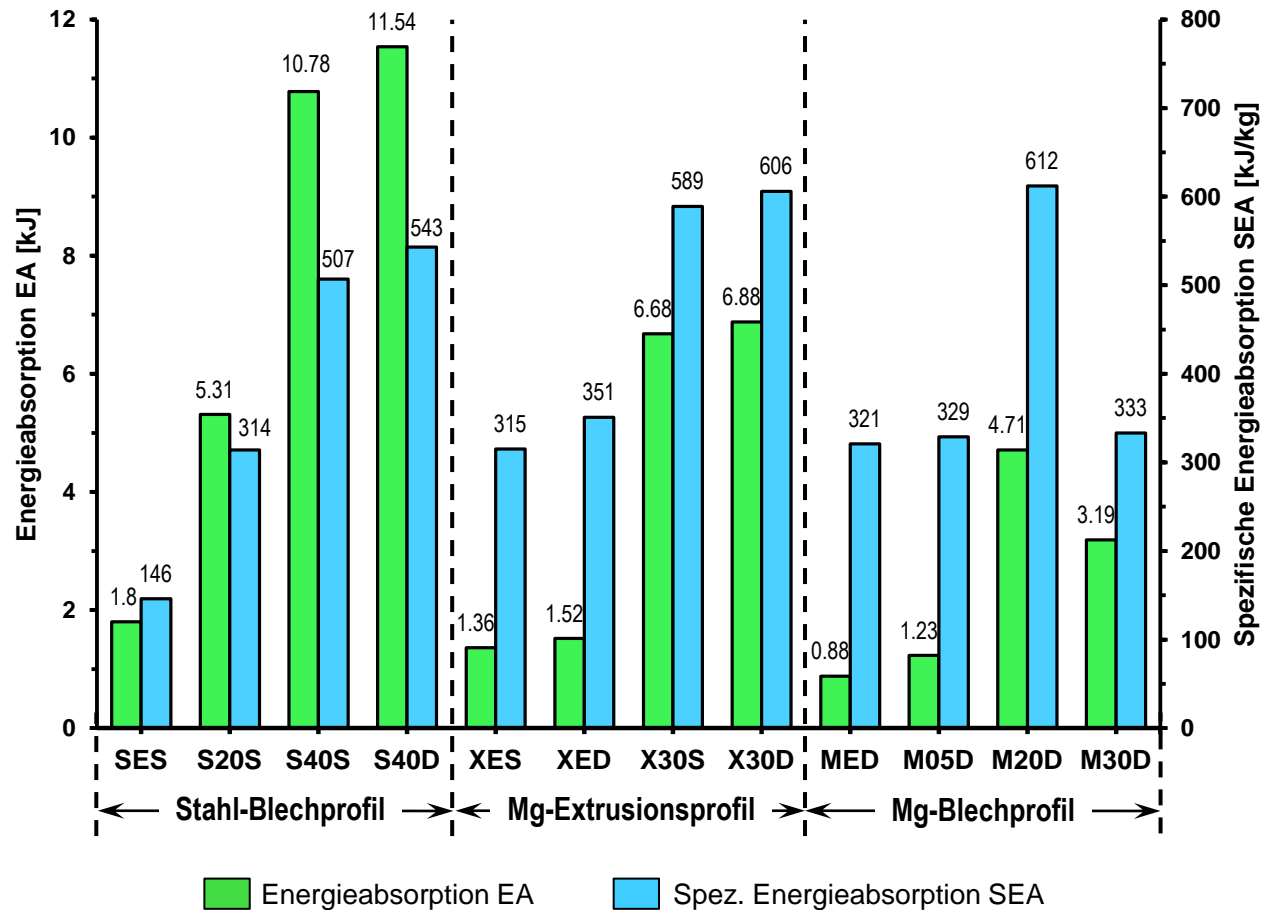
3-Punkt Biegung: Versuch

Energieabsorptionsfähigkeit: Durchbiegung von 450 mm



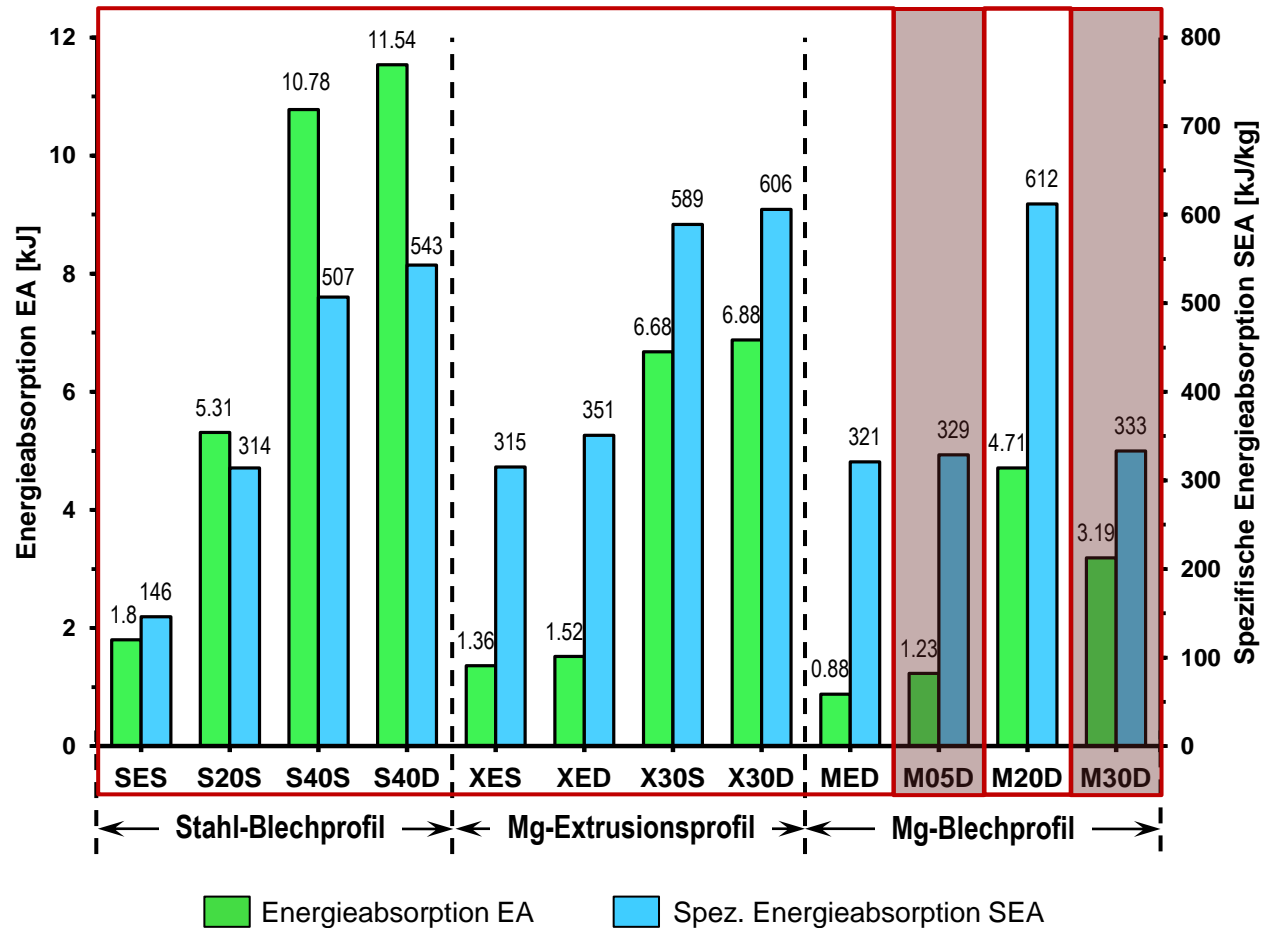
3-Punkt Biegung: Versuch

Energieabsorptionsfähigkeit: Durchbiegung von 450 mm



3-Punkt Biegung: Versuch

Energieabsorptionsfähigkeit: Durchbiegung von 450 mm

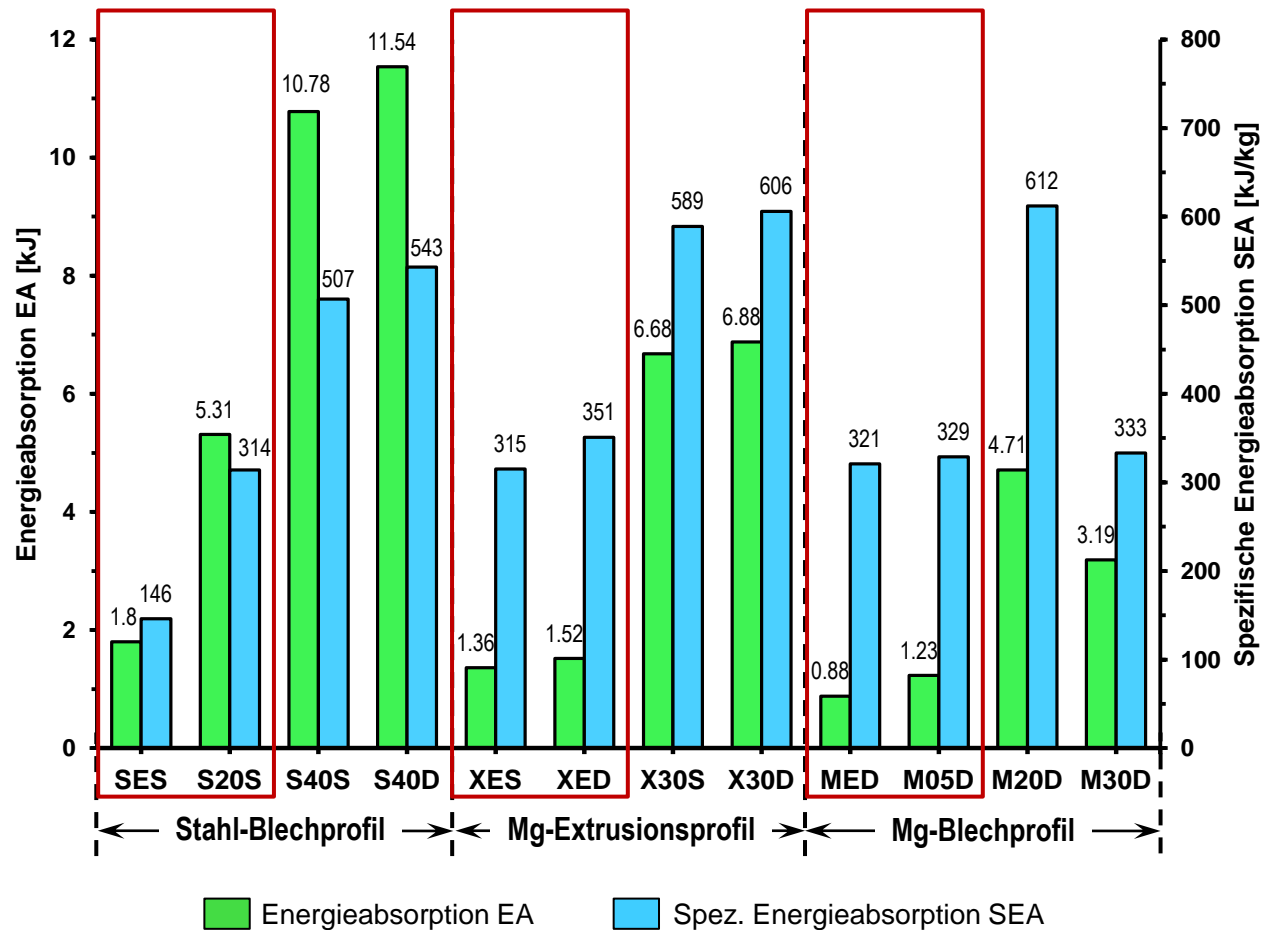


- SEA durch PU-Schaumfüllung deutlich verbessert (Außer **M05D** und **M30D**)



3-Punkt Biegung: Versuch

Energieabsorptionsfähigkeit: Durchbiegung von 450 mm

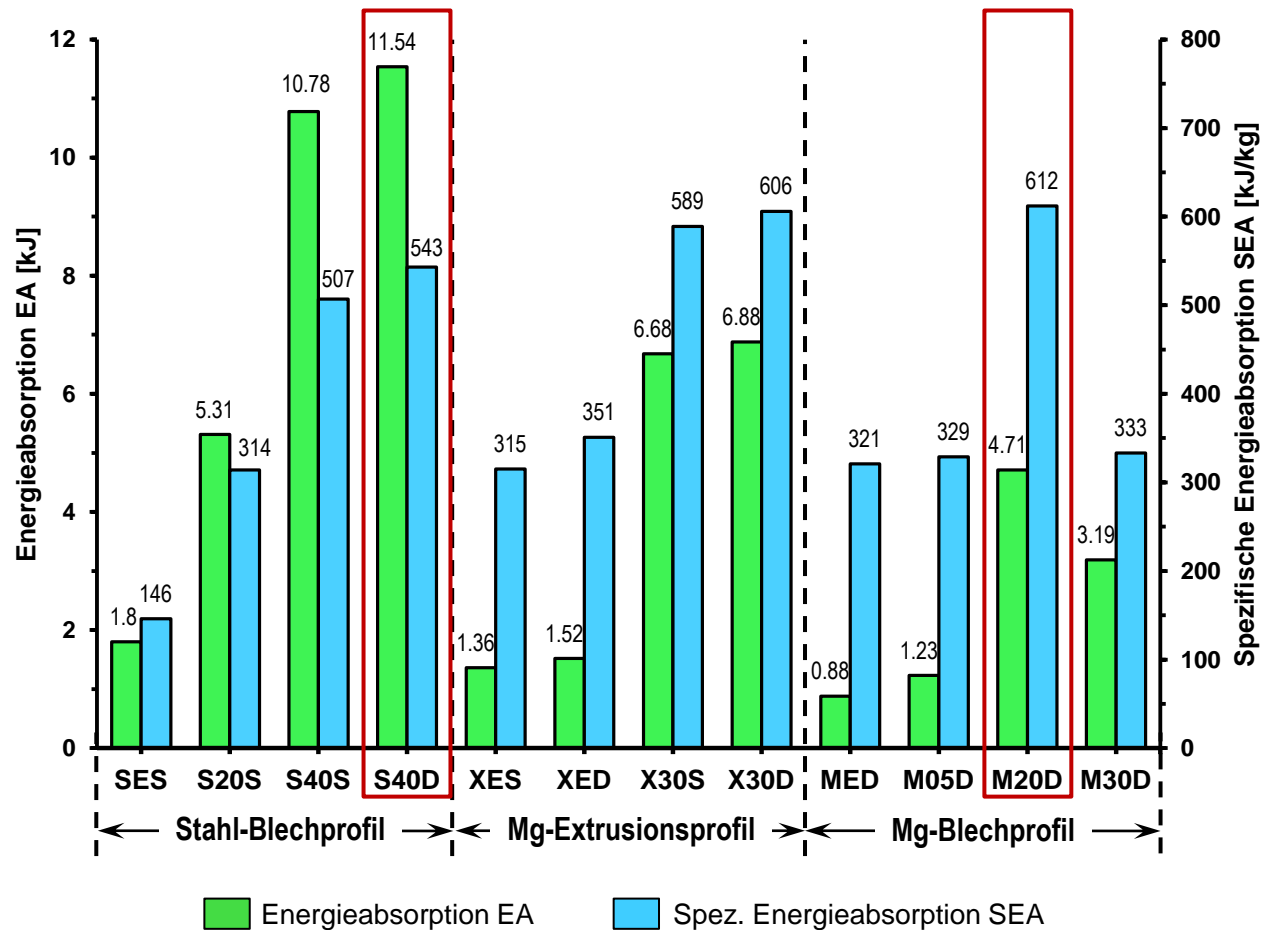


- SEA durch PU-Schaumfüllung deutlich verbessert (Außer **M05D** und **M30D**)
- Mg AZ31B** übertrifft **Stahl DC04** bzgl. SEA für hohle dünnwandige Profile unter Biegebelast



3-Punkt Biegung: Versuch

Energieabsorptionsfähigkeit: Durchbiegung von 450 mm

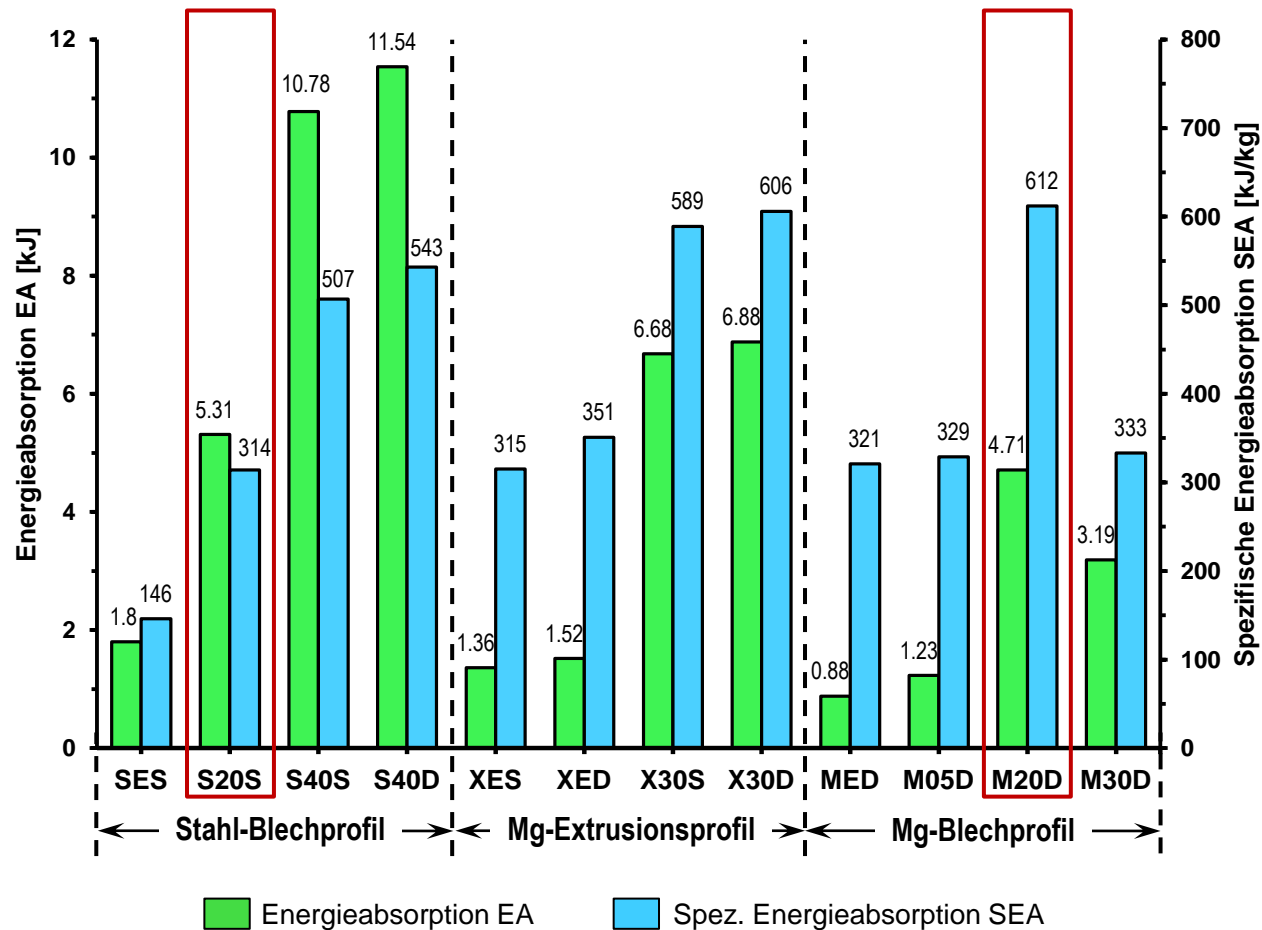


- SEA durch PU-Schaumfüllung deutlich verbessert (Außer **M05D** und **M30D**)
- Mg AZ31B** übertrifft **Stahl DC04** bzgl. SEA für hohle dünnwandige Profile unter Biegebelast
- S40D** hat höchste EA, **M20D** höchste SEA



3-Punkt Biegung: Versuch

Energieabsorptionsfähigkeit: Durchbiegung von 450 mm

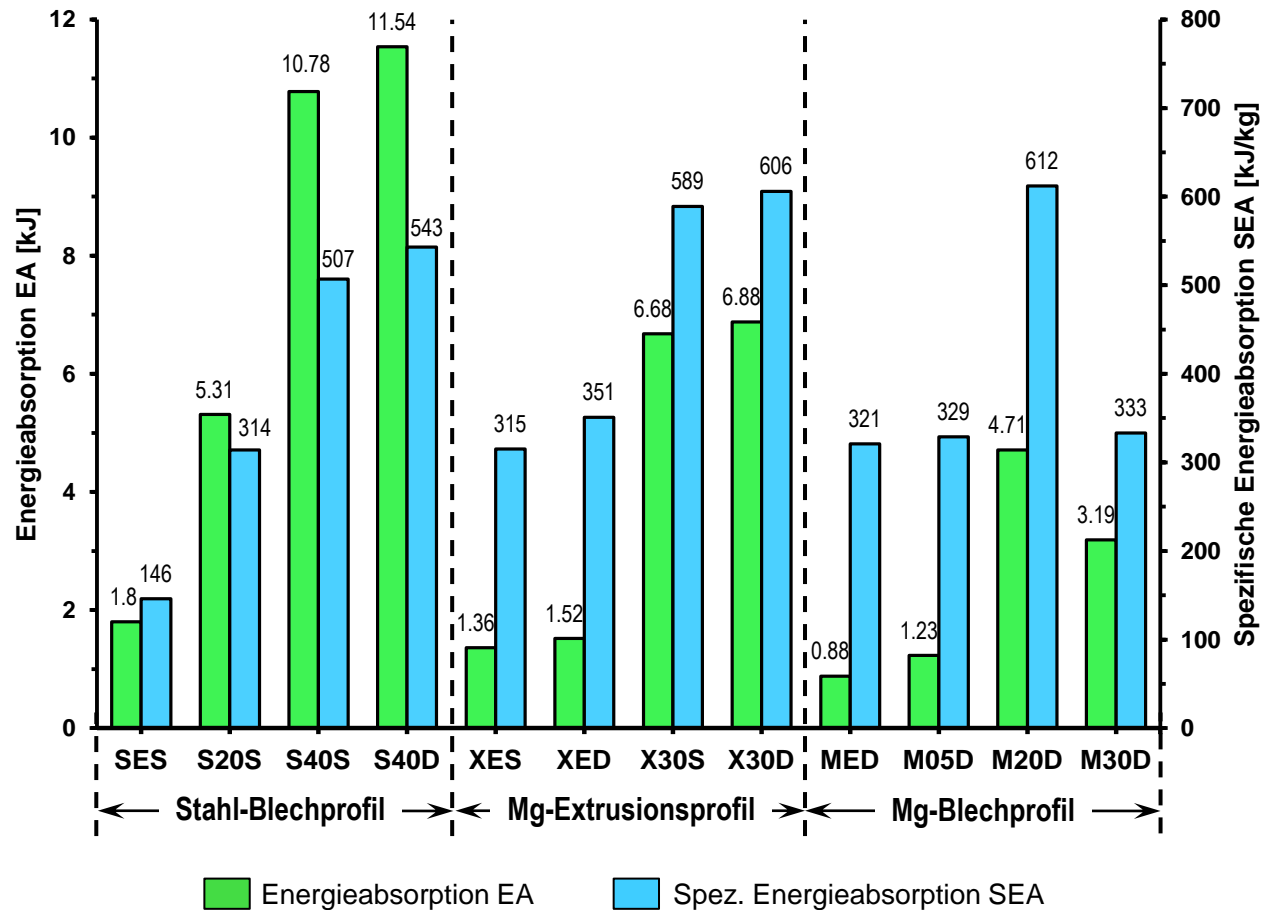


- SEA durch PU-Schaumfüllung deutlich verbessert (Außer **M05D** und **M30D**)
- Mg AZ31B** übertrifft **Stahl DC04** bzgl. SEA für hohle dünnwandige Profile unter Biegebelast
- S40D** hat höchste EA, **M20D** höchste SEA
- S20S** vs **M20D**: **M20D** ist 55% leichter und hat 2,4 mal höhere SEA als **S20S**, und absorbiert 11% weniger Energie



3-Punkt Biegung: Versuch

Energieabsorptionsfähigkeit: Durchbiegung von 450 mm

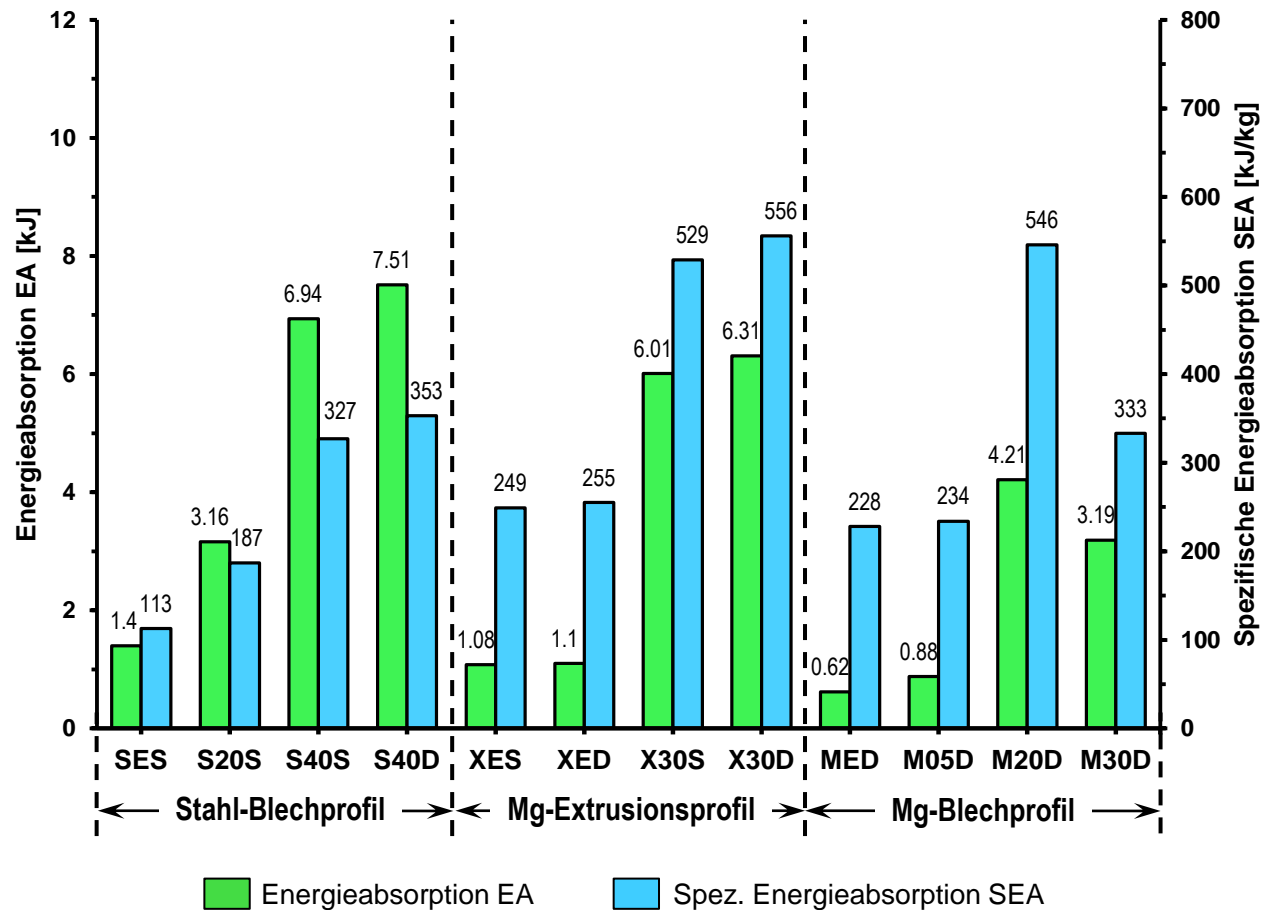


- SEA durch PU-Schaumfüllung deutlich verbessert (Außer **M05D** und **M30D**)
- Mg AZ31B** übertrifft **Stahl DC04** bzgl. SEA für hohle dünnwandige Profile unter Biegelast
- S40D** hat höchste EA, **M20D** höchste SEA
- S20S** vs **M20D**: **M20D** ist 55% leichter und hat 2,4 mal höhere SEA als **S20S**, und absorbiert 11% weniger Energie
- Absorptionspotenzial von **Mg AZ31B** ist begrenzt durch vorzeitigen Bruch



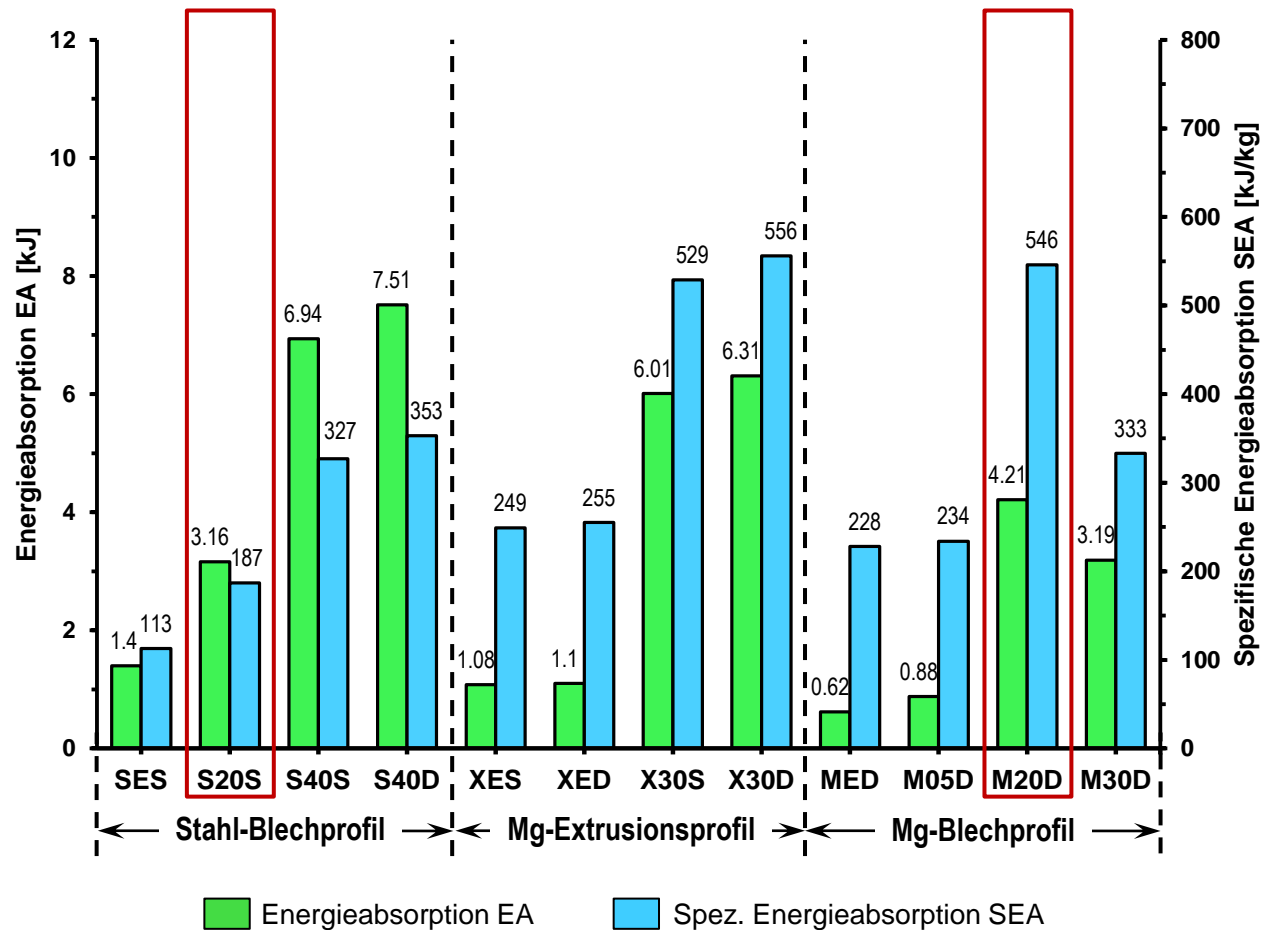
Drei-Punkt-Biegung: Versuch

Energieabsorptionsfähigkeit: Durchbiegung von 250 mm



Drei-Punkt-Biegung: Versuch

Energieabsorptionsfähigkeit: Durchbiegung von 250 mm

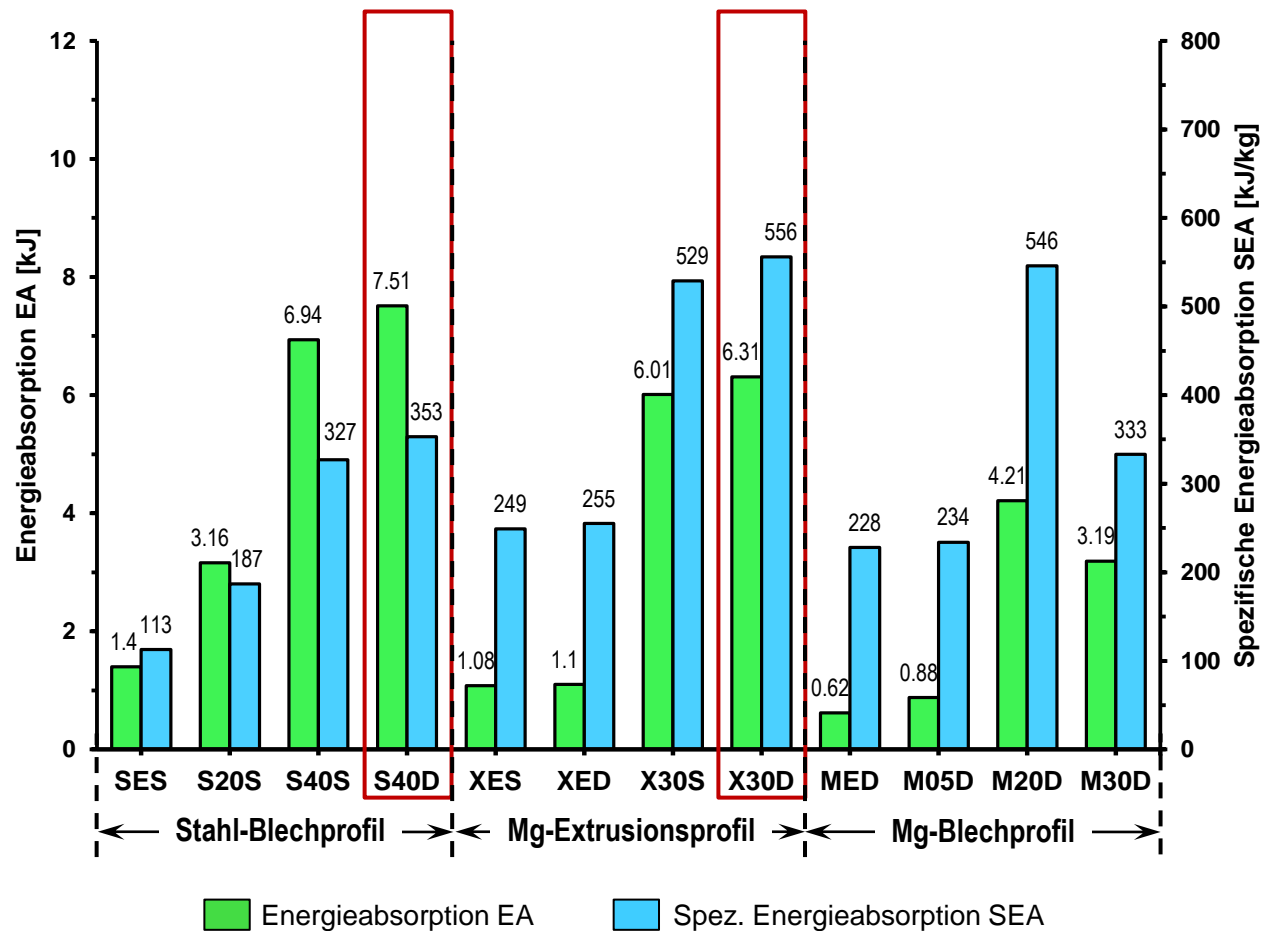


- **M20D** vs **S20S**: **M20D** hat 33% höhere EA und 2.9 mal höhere SEA als **S20S**, und ist 55% leichter



Drei-Punkt-Biegung: Versuch

Energieabsorptionsfähigkeit: Durchbiegung von 250 mm

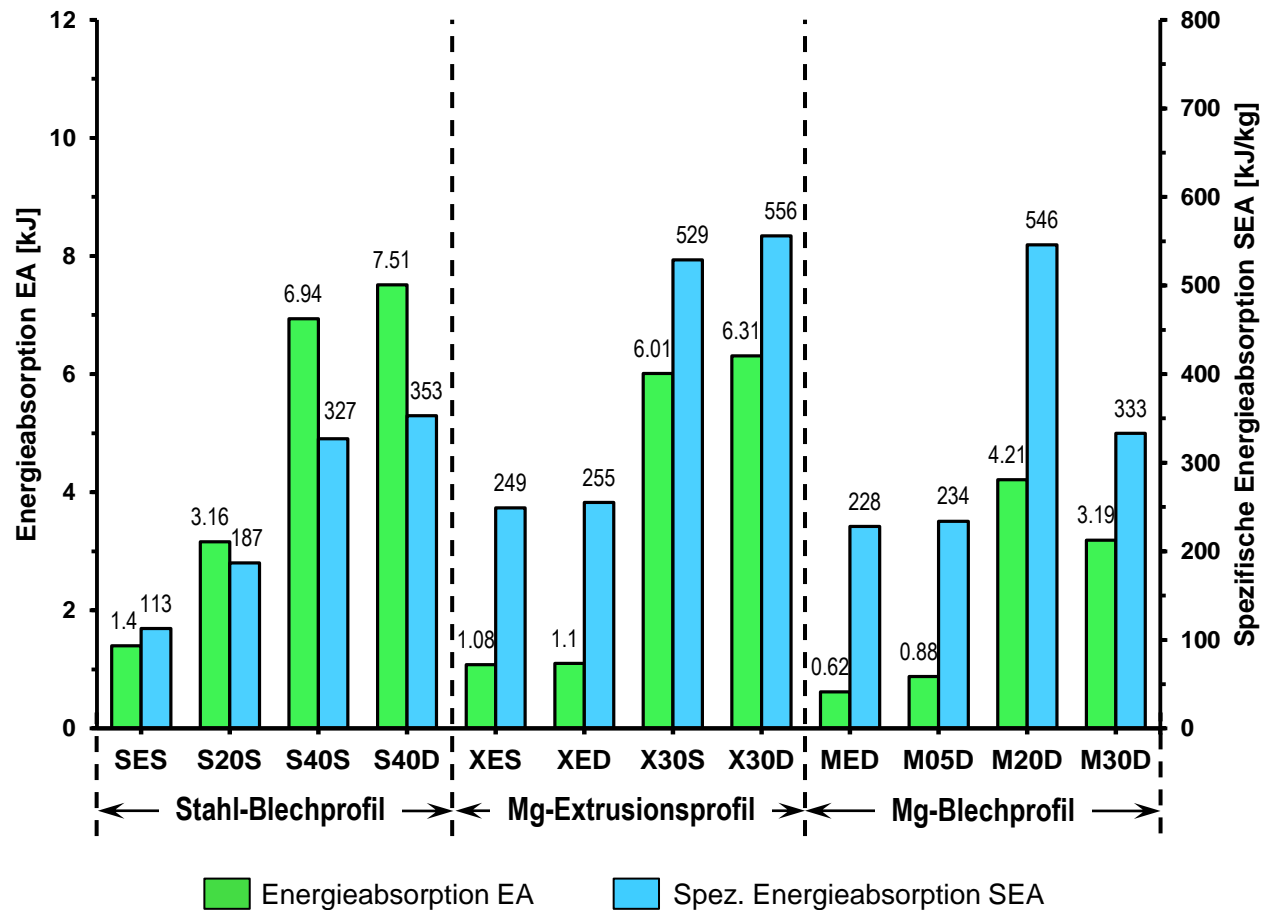


- **M20D** vs **S20S**: **M20D** hat 33% höhere EA und 2.9 mal höhere SEA als **S20S**, und ist 55% leichter
- **X30D** vs **S40D**: **X30D** absorbiert 16% weniger Energie als **S40D**, erreicht 1.6 mal höher SEA und ist 46% leichter



Drei-Punkt-Biegung: Versuch

Energieabsorptionsfähigkeit: Durchbiegung von 250 mm



- **M20D** vs **S20S**: **M20D** hat 33% höhere EA und 2.9 mal höhere SEA als **S20S**, und ist 55% leichter
- **X30D** vs **S40D**: **X30D** absorbiert 16% weniger Energie als **S40D**, erreicht 1.6 mal höher SEA und ist 46% leichter
- Dünnwandige schaumgefüllte **Mg AZ31B** Profile können, bei begrenzter Durchbiegung, **Stahl DC04** erheblich übertreffen

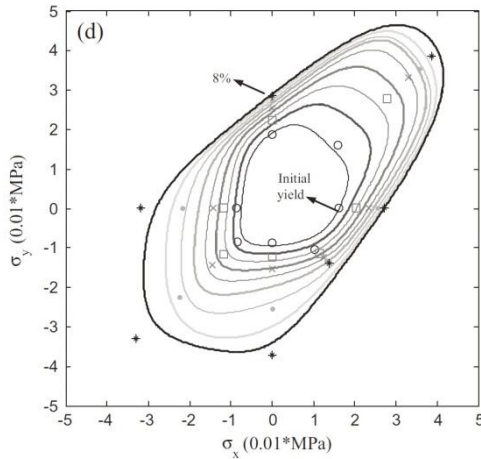


- Einleitung
- Motivation
- Materialversuche und Charakterisierung
- Drei-Punkt-Biegung: Versuch
- **Drei-Punkt-Biegung: Simulation**
- Zusammenfassung

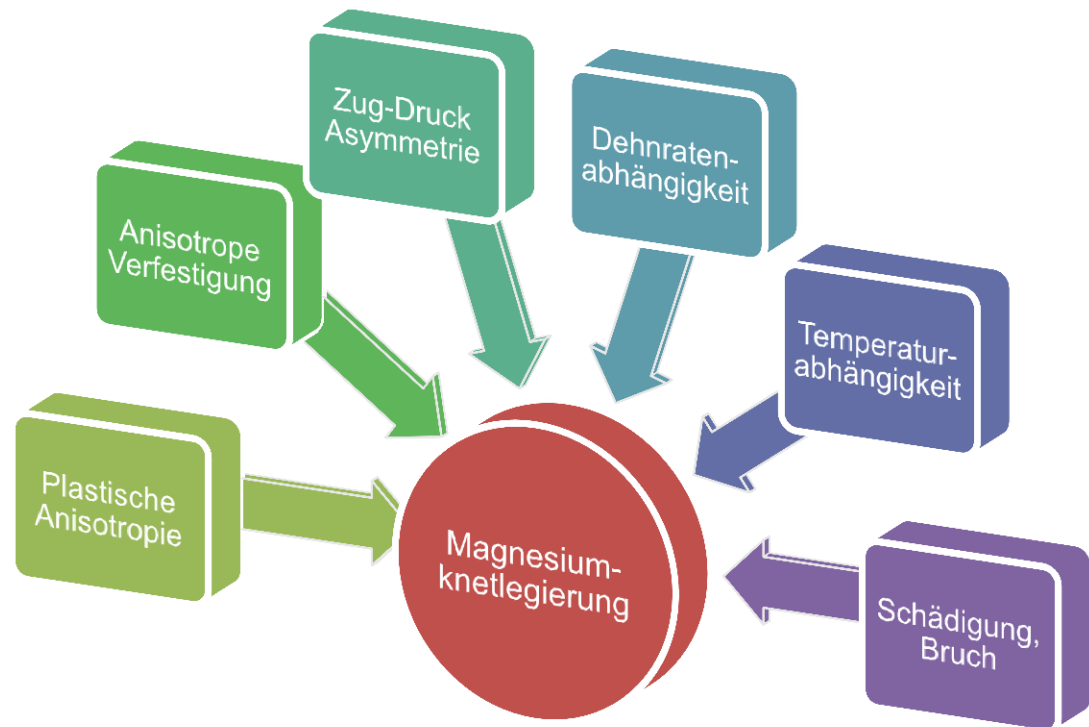
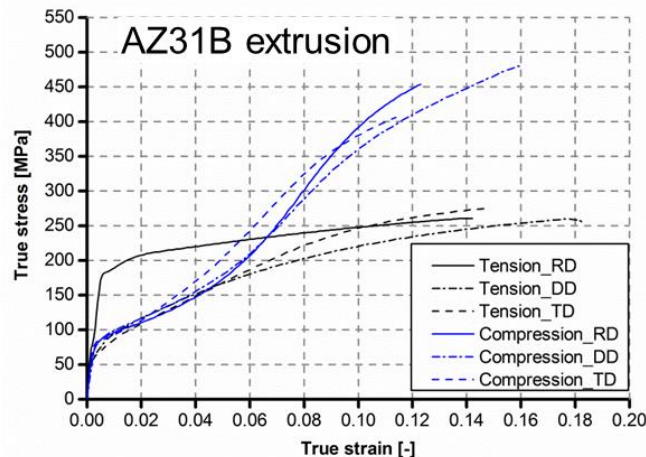


Drei-Punkt-Biegung: Simulation

Material Eigenschaften von Mg AZ31B



Fließortkurven bei unterschiedlichen Dehnraten (Versuch und gefittete Kurven).



Drei-Punkt-Biegung: Simulation

Materialmodelle in LS-DYNA

Modell	Funktion	Plastische Anisotropie	Verfestigung	Zug-Druck-Asymmetrie	Dehnraten-abhängigkeit
*MAT_024	von Mises		Isotrop		✓
*MAT_124	von Mises		Isotrop	✓	✓
*MAT_103	Hill1948	✓	Isotrop + Kinematisch		✓
*MAT_242	Barlat-8P	✓	Isotrop + Kinematisch		
*MAT_233	Cazacu-Plunkett-Barlat (CPB2006)	✓	Isotrop	✓	
*MAT_107	Johnson-Cook		Isotrop		✓
*MAT_120	Gurson		Isotrop		✓

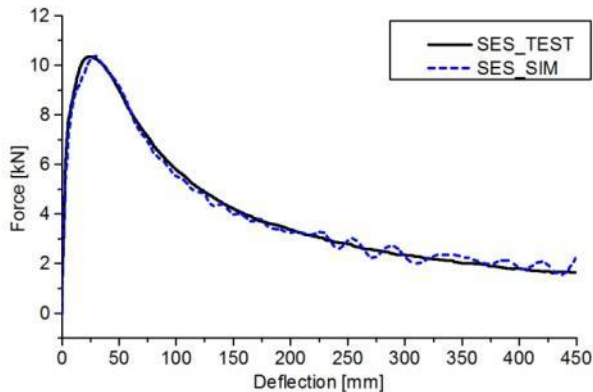
- ***MAT_124** bildet Zug-Druck-Asymmetrie als bestimmende Eigenschaft von Magnesium ab
- ***MAT_EROSION** bildet Versagen in erster Näherung durch max. Hauptdehnung ab (detailliertere Abbildung des Versagens steht aktuell aus)
- ***MAT_MODIFIED_CRUSHABLE_FOAM** bildet PUR-Schäume ab



Drei-Punkt-Biegung: Simulation

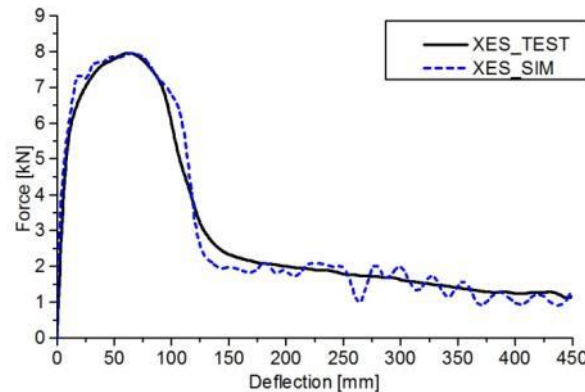
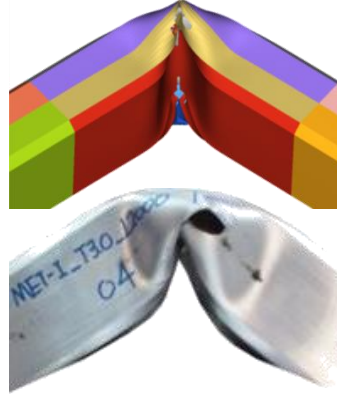
FE-Simulation: **hohle Profile**

**Stahlprofil
hohl**



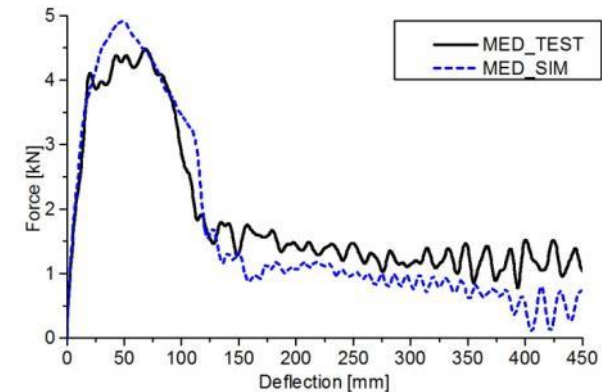
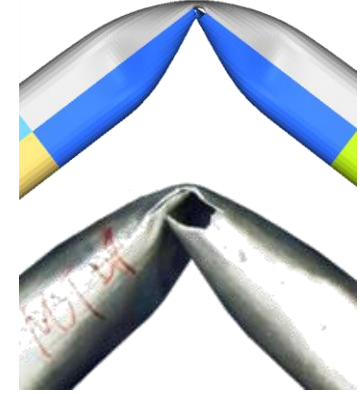
Gute Korrelation

**Mg-Extrusionsprofil
hohl**



Gute Korrelation

**Mg-Blechprofil
hohl**



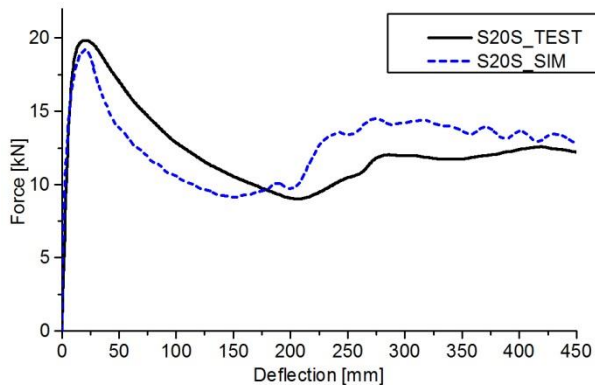
Generell gute Korrelation



Drei-Punkt-Biegung: Simulation

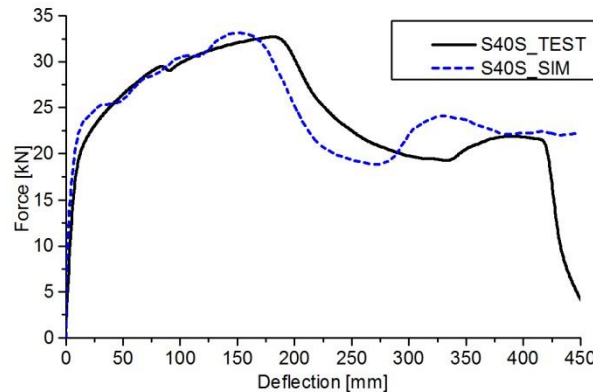
FE-Simulation: **schaumgefüllte Profile**

**Stahlprofil
gefüllt**



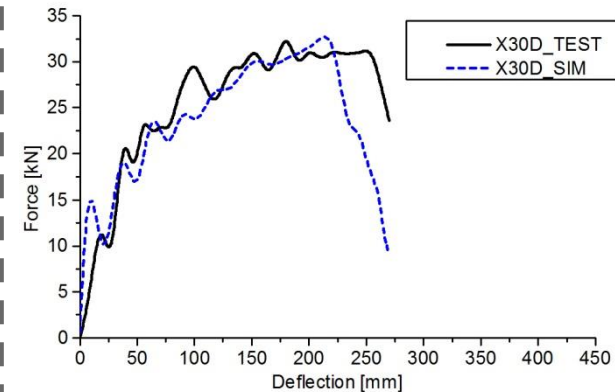
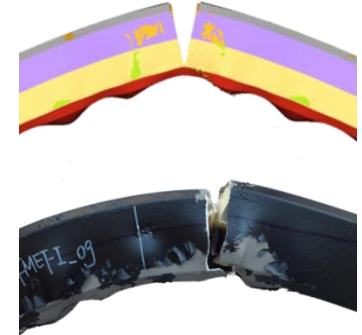
Gute Korrelation

**Mg-Extrusionsprofil
gefüllt**



Gute Korrelation

**Mg-Blechprofil
gefüllt**

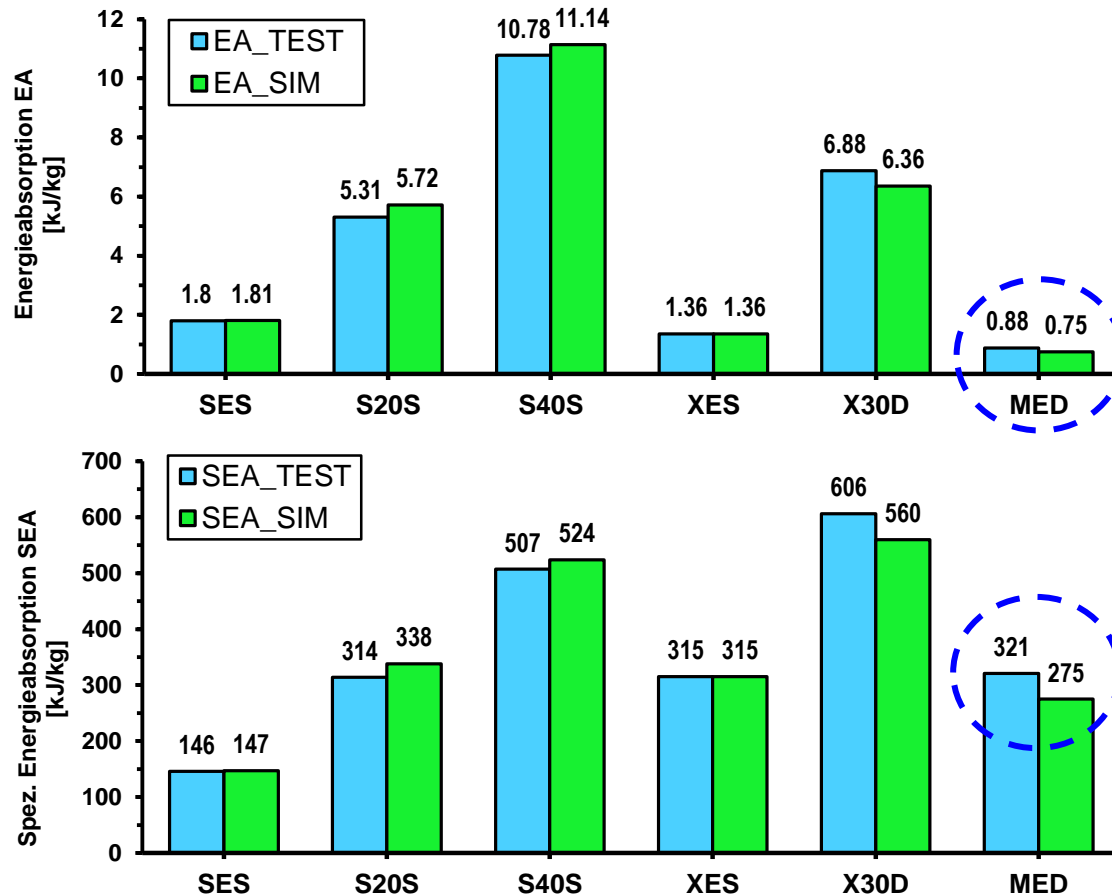


Gute Korrelation



Drei-Punkt-Biegung: Simulation

Energieaufnahmevermögen: Versuch vs Simulation



Max. Fehler

Max. Fehler <14%



- Einleitung
- Motivation
- Materialversuche und Charakterisierung
- Drei-Punkt-Biegung: Versuch
- Drei-Punkt-Biegung: Simulation
- Zusammenfassung



Zusammenfassung

- Mg AZ31B Extrusionsprofil und Blech zeigen ausgeprägte Anisotropie, Dehnratenabhängigkeit, Zug-Druck-Asymmetrie und geringe Duktilität bei Raumtemperatur
- Absorptionspotenzial von Mg AZ31B ist durch vorzeitigen Bruch begrenzt
- Mg AZ31B kann Stahl DC04 bzgl. SEA deutlich übertreffen, wenn Deformation begrenzt
- Materialmodell *MAT_124 kann mit kalibrierten Materialparametern gute Simulationsergebnisse liefern (bzgl. Deformation, Kraft-Durchbiegungs-Kurven und Energieabsorption)
- Generische schaumgefüllte Magnesiumprofile als Crashabsorber in Fahrzeug einsetzbar, wenn zulässige Deformation durch umliegende Strukturen begrenzt



Vielen Dank!



Wissen für Morgen

